

С. Ю ШЕВЧЕНКО. канд. техн. наук, професор НТУ «ХП».

СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ ОБМЕЖУВАЧА ПЕРЕНАПРУГ НЕЛІНІЙНОГО ДЛЯ АНАЛІЗУ ЙОГО РОБОТИ ПРИ ПОРУШЕННЯХ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖІ

Метою даної роботи є визначення схем заміщення ОПН в режимах довгострокового прикладення робочої напруги, які дозволять виконувати аналіз їх роботи в умовах порушень якості електричної енергії. Наведена схема заміщення ОПН враховує компоненти необхідні для аналізу режиму роботи обмежувача перенапруг в цілому в області вольт амперної характеристики, що стосується струмів витоку. Такий аналіз дозволить уточнити вибір ОПН враховуючи його роботу у зоні струмів витоку вольт амперної характеристики, де він працює найбільше часу.

Ключові слова: обмежувач перенапруг нелінійний, схема заміщення

Постановка проблеми. Одним з важливих питань при виборі та експлуатації обмежувачі перенапруг нелінійних (ОПН) є вибір найбільшої робочої напруги, яка дозволить ОПН достатній час витримувати її дію. На сьогодні значення найбільшої припустимої напруги визначають за значенням аналогічної напруги електричної мережі де встановлено ОПН. Такий підхід буде давати хороші результати тільки тоді, коли в мережі, що розглядається не можливі відхилення якості електричної енергії від тих що зазначені у нормативних документах для даного класу напруги. Такі відхилення можуть бути викликані наявністю в електричній мережі гармонічних коливань або вірогідними підвищеннями напруги до рівнів при яких час безаварійної роботи ОПН може суттєво скоротитися[12]. Для аналізу подібних режимів роботи ОПН необхідно мати відповідні алгоритми та схеми заміщення, які дозволять проаналізувати параметри, що впливають на їх нормальну роботу та дозволять скоротити аварійність.

Аналіз публікацій Схеми заміщення ОПН достатньо детально розглянуті в літературі[2,3,4,5,6,7,8,9]. Існує декілька визнаних та рекомендованих схем заміщення, які добре відображають роботу ОПН в режимах протікання по ним достатньо великих струмів та дозволяють з великою точністю розрахувати залишкові напруги ОПН. Подібні розрахунки, з успіхом, використовують при аналізі різноманітних перенапруг в електричній мережі[6,7,8,9,10,11,13,14].

© С. Ю. Шевченко, 2015

Однак слід зауважити, що подібні схеми не враховують ту обставину, що ОПН мають три ділянки вольт амперної характеристики на яких змінюється властивості ОПН від діелектрика до провідника. Такі зміни обумовлені електрофізичними властивостями ОПН, у якого при переході до робочої зони вольт амперної характеристики (ВАХ) ємність зменшується до нулевих значень.

Ціль статті. Метою даної роботи є визначення схем заміщення ОПН в режимах довгострокового прикладення робочої напруги, які дозволять виконувати аналіз їх роботи в умовах порушень якості електричної енергії.

Метод рішення. Основним критерієм нормальної роботи ОПН протягом тривалого часу є його спроможність розсіювати енергію яка проходить скрізь нього протягом всього строку експлуатації. Значення такої енергії в режимах струмів витоку визначається діелектричними втратами в матеріалі варисторів ОПН. Ця обставина а також те що ОПН конструктивно представляє з себе конденсатор дозволяє провести аналіз втрат в ньому виходячи з визначення втрат в матеріалі з якого він виготовлений.

Для вивчення діелектричних втрат будь якого діелектрика, необхідно розглянути конденсатор з цим матеріалом в колі змінного струму[1], що відповідає представленню ОПН в області струмів витоку в якості конденсатора. Реальний конденсатор має деяку ємність C , в ньому розсіюється деяка потужність P , а кут зсуву фаз між струмом і напругою дорівнює ϕ . Еквівалентна схема реального конденсатора буде містити ідеальний конденсатор та активний опір, включений паралельно або послідовно з конденсатором. Для варистора в таку схему необхідно додати нелінійний опір. Однак в області струмів витоку він буде дорівнювати безкінечності (струм провідності по варистору дорівнює нулю) тому не вплине на подальші висновки. За цієї ознакою розглянемо два види еквівалентної схеми: паралельну і послідовну. Параметри цих еквівалентних схем повинні бути вибрані так, щоб витрачена в них активна потужність дорівнювала потужності втрат P , а струм випереджав би напругу на кут ϕ .

Послідовна схема заміщення варистора та її векторна діаграма зображені на рис. 1 та рис. 2

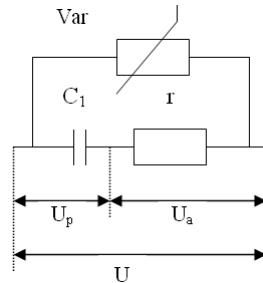


Рис. 1 – Послідовна схема заміщення варистора у зоні струмів витоку

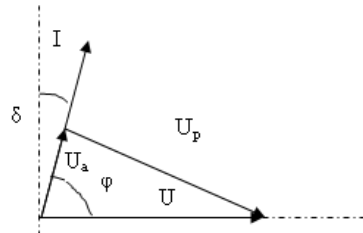


Рис. 2 – Векторна діаграма варистора при послідовній схемі заміщення.

Активна складова напруги U_a збігається по фазі з струмом, реактивна складова напруги U_p відстає від струму на кут 90 градусів. Якщо напруги в трикутнику напруг розділити на модуль вектора струму I , то отримаємо трикутник опорів.

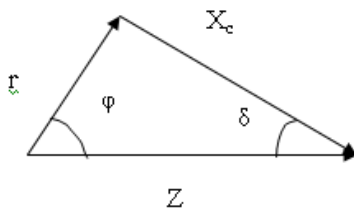


Рис. 3 – Векторна діаграма струмів паралельної схеми

З трикутника опорів отримуємо вираз для $\tan \delta$

$$\tan \delta = \frac{r}{X_c} = \omega r \tilde{N}_1,$$

де ω - кругова частота; C_1 - ємність послідовної схеми заміщення

Величина потужності, що розсіюється для послідовної схеми заміщення:

$$P = UI \cos \varphi = U \frac{U}{Z} \frac{r}{Z} = \frac{U^2 r}{x_c^2 + r^2} = \frac{U^2 r}{x_c^2 \left[1 + \frac{r^2}{x_c^2} \right]} = \frac{U^2 \tan \delta}{x_c^2 (1 + \tan^2 \delta)} = \frac{U^2 \omega C_1 \tan \delta}{1 + \tan^2 \delta} \quad (1)$$

Паралельна схема заміщення варистора і векторна діаграма струмів та напруг зображені на рис. 3 та рис. 4

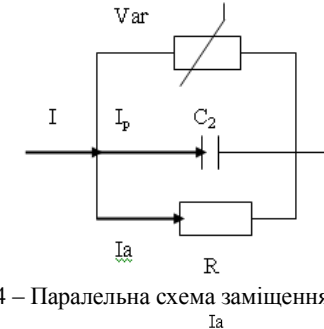


Рис. 4 – Паралельна схема заміщення варистора

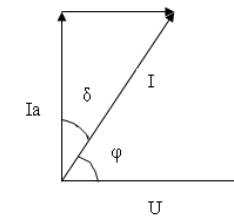


Рис. 5 – Векторна діаграма варистора при паралельній схемі заміщення.

З трикутника струмів визначимо вираз для $\tan \delta$

$$\tan \delta = \frac{I_a}{I_p} = \frac{U}{RU \omega C_2} = \frac{1}{R \omega C_2} \quad (2)$$

Для паралельної схеми заміщення величина потужності, що розсіюється дорівнює

$$P = UI \cos \varphi = UI \sin \delta = U \frac{I_a}{\cos \delta} \sin \delta = U \frac{I_a}{x_p} \tan \delta = U^2 \omega C_2 \tan \delta \quad (3)$$

Вирази для розсіювання потужності відповідно до формул (1) і (3) не збігаються. Це пов'язано з тим, що еквівалентні схеми вводяться умовно, не пояснюючи повністю механізму діелектричних втрат. Так

як розсіювана в діелектрику потужність не може залежати від обраної схеми заміщення, то різнитися будуть параметри різних схем заміщення. Ємності й активні опори паралельної і послідовної схем заміщення пов'язані між собою виразами:

$$C_2 = \frac{C_1}{1 + tg^2 \delta}$$

$$R = r \left(1 + \frac{1}{1 + tg^2 \delta} \right)$$

Для оксидноцинкових легованих варисторів з яких складається ОПН квадрат тангенса кута діелектричних втрат малий у порівнянні з одиницею і параметри схем заміщення збігаються. А ось величина $tg \delta$ для діелектрика від обраної схеми заміщення не залежить. Але цей показник залежить від природи матеріалу, частоти прикладеної напруги і температури навколишнього середовища. Таким чином, слід зазначити, що схема заміщення варистора є нелінійною, параметри її елементів істотно залежать від температури і частоти прикладеної напруги.

Враховуючи що ємність та величина $tg \delta$ діелектриків мають залежність від частоти, у схему заміщення варистора, для запобігання резонансним явищам, необхідно додати індуктивність, яка обумовлена індуктивністю шин, що приєднані до ОПН. Цей індуктивний опір представлений на схемі рис 6 індуктивністю L . Відповідними розрахунками має бути визначена довжина ошиновки яка буде призводити до виникнення резонансу на тій чи іншій частоті, та видані рекомендації що до запобігання подібним явищам.

Досить значимою може бути величина втрат потужності від струмів, які протікають по вологій поверхні ОПН в процесі експлуатації в районах з великою ступеню забрудненості атмосфери, однак вона не може бути визначальною при виборі ОПН тому що впливає на його тепловий баланс тільки через температуру поверхні, яка при великих значеннях струму витоку може зростати на декілька градусів. Такі втрати в схемі заміщення рис. 6 враховує введений паралельно опір $R_{вит.}$.

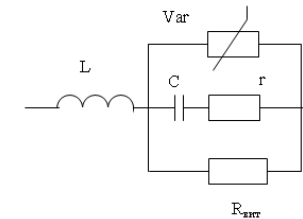


Рис. 6 – Повна схема заміщення ОПН

Наведена на рис. 6 схема заміщення ОПН враховує компоненти необхідні для аналізу режиму роботи обмежувача перенапруг в цілому в області вольт амперної характеристики, що стосується струмів витоку. Такий аналіз дозволить уточнити вибір ОПН враховуючи його роботу у зоні струмів витоку вольт амперної характеристики, де він працює найбільше часу. Нажаль при наявності великої кількості робіт по вивченню характеристик оксидноцинкових керамік досить складно визначити параметри ОПН в цілому, тому що кожний виробник має свою технологію їх вироблення, що призводить до великих розбіжностей параметрів. Можна навести приклад ємності, яка буде залежати від конструктивного виконання електродів та способу виконання контакту між електродами та варисторами. Ці обставини на наш погляд ілюструють необхідність детального вивчення параметрів ОПН у зібраному стані різних виробників для визначення параметрів схеми заміщення.

Висновки:

1. Наведені прості для використання схеми заміщення ОПН, які дозволяють проводити аналіз роботи ОПН у зоні струмів витоку вольт амперної характеристики.
2. Параметри схем заміщення можуть суттєво відрізнятися для ОПН одного класу напруги з іншими однаковими характеристиками, за рахунок технологічних особливостей вироблення.
3. Необхідні дослідження параметрів ОПН різних виробників з метою визначення параметрів схеми заміщення, що дозволить підвищити надійність роботи ОПН та електричних мереж в цілому.

Список літератури: 1. Основы теории цепей: Учебник для вузов/ Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Стахов С.В. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. 2. Хинрихсен Фолькер. Siemens. Металлоксидные ограничители. Основы. – АО «Сименс», 2000. – 111 с. 3. IEEE Working Group 3.4.11: “Modeling of metal oxide surge arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1992; 7(1):302-309. 4. Darveniza. M, Roby. D, Tumma. LR, “Laboratory and analytical studies of the effects of multipulse lightning current

on metal oxide arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1994; 9:764-771. **5.** *Darveniza. M, Tumma. LR, Richter. B, Roby. D*, “Multipulse lightning currents and metal-oxide arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1997; 12:1168-1175. **6.** ABB MWK Surge Arrester Datasheet, Medium Voltage Products & Systems **7.** *Magro. MC, Giannettoni. M, Pinceti. P*, “Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies”, IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19:1692-1695. **8.** *Pinceti. P, Giannettoni. M.*: “A simplified model for zinc oxide surge arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1999; 14(2):393-398. **9.** *Exlim*. Техническая информация. Руководство по выбору высоковольтных ограничителей перенапряжений производства фирмы АББ. – ЗАО АББ УЭТМ, 1996. – 24 с. **10.** СОУ-Н ЕЕ 40.12-00100227-47:2011 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 110-750 кВ.Настанова щодо вибору та застосування. **11.** СОУ-Н МВВ 40.1-00100227-67:2012 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 6-35 кВ.Настанова щодо вибору та застосування у розподільчих установках. **12.** *Гриб О.Г., Шевченко С.Ю., Гапон Д.А., Иерусалимова Т.С., Жданов Р.В.* Работа средств защиты от перенапряжения при наличии в электрических сетях высших гармоник Электротехника та електромеханіка. – Харків, 2014. – №4. **13.** Выбор, испытание и применение металлооксидных ограничителей перенапряжений в сетях среднего напряжения. Правила выбора. ABB High Voltage Technologies Ltd. – Швейцария, Веттинген, май, 1994. **14.** Металлооксидные ограничители перенапряжений. Выбор ограничителей перенапряжений и их применение в распределительных сетях среднего напряжения: Информация Тайко Электроникс Райхем Гмбх. – Киев, 2011. – 18 с. **15.** ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Bibliography (transliterated): **1.** Zeveke G.V, Ionkin P.A. Netushil, Stahov S.V *Osnovi teorii chepey: Uchebnik dlaj vuzov*. Moscow Energoatomizdat, 1989. Print. **3.** *IEEE Working Group* 3.4.11: “Modeling of metal oxide surge arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1992; 7(1):302-309. **4.** *Darveniza. M, Roby. D, Tumma. LR*, “Laboratory and analytical studies of the effects of multipulse lightning current on metal oxide arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1994; 9:764-771. **5.** *Darveniza. M, Tumma. LR, Richter. B, Roby. D*, “Multipulse lightning currents and metal-oxide arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1997; 12:1168-1175. **6.** ABB MWK Surge Arrester Datasheet, Medium Voltage Products & Systems **7.** *Magro. MC, Giannettoni. M, Pinceti. P*, “Validation of ZnO surge arresters model for overvoltage studies”, IEEE Transactions on Power Delivery 2004; 19:1692-1695. **8.** *Pinceti. P, Giannettoni. M.*: “A simplified model for zinc oxide surge arresters”, IEEE Transactions on Power Delivery 1999; 14(2):393-398. **9.** *Tehnicheskaja informacija. Rykovodstvo po vibory ograniciteluj perenaprjazzenij firmi ABB.* 1996 Print. **10.** *Obmezhuвачи perenaprug nelinejni. napruguju 110 – 750 kV. Nastanova sh'odo vibory.* 2011 Print.. **12.** *Grib O.G., Shevchenko S.U., Gapon D.A., Ierusalimova T.S., Zdanov R.V.* Rabota sredstv pfschini ot perenaprjazzenij pri nalichii v tektlicheakih setjah visshih garmonik *Elektrotehnika ta elektromehaniika*. 2014. No 4. **13.** *Vibor ispitaniija i primenenie . Metalooksidnih ograniciteluj perenaprjazzenija v aetjah srednego naprjazzenija. ABB High Voltage Technologies Ltd. – 1994.* **14.** *Metalooksidnie ograniciteli perenaprjazzenija . Vibor i primenenie . Metalooksidnih ograniciteluj perenaprjazzenija v aetjah srednego naprjazzenija: Informachija Tayko electronics Rayhem GmbH. Kiev, 2011.* Print. **15.** *Elektricheskaja energija. Sovmeatimost tehniceskikh sredstv elektromagnitnaja. Normi kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzenija obshego naznachenija.* 2013 Print

Поступила (received) 29.04.2015